

Análisis de un Array de Antenas de Parche Tipo Bow-Tie con Lentes Acopladas en Banda Ka

David Ortiz, Ángel Colín, Enrique Martínez
ortizgd@ifca.unican.es, acolín@ifca.unican.es, martinez@ifca.unican.es
Instituto de Física de Cantabria (CSIC-UC)
Av. Los Castros s/n. 39005 Santander, Cantabria

Abstract- A printed array composed of 4 bow-tie slot antennas is designed on Alumina substrate to operate in the Ka-band. The reported design is suitable for the integration in microwave systems used in radar or radio astronomy detection. The array uses aperture coupling between the CPW feed lines and a parasitic patch, made on Arlon 25N, with the substrates layers in a hi-lo configuration. In order to feed the array, a combination of Wilkinson power dividers with microstrip to CPW transitions is designed to complete the feeding network. Two hemispherical lenses made of low-permittivity materials, Plexiglas and Teflon, joined to the array, enhance its performance. Simulation results exhibit a frequency range of operation from 24 to 40 GHz with a maximum impedance bandwidth of 25% achieved for -10 dB return loss. The radiation patterns show a maximum gain of around 15 dB with HPBW (half power bandwidth) of $\pm 8^\circ$ in both E and H planes, and whose first side lobes are more than 15 dB below the main lobe. The presented results of this array will be considered as a feasibility study to the phase II of the experiment called QUIJOTE, which is designed to study the polarization of the Cosmic Microwave Background (CMB).

I. INTRODUCCIÓN

Las observaciones del Fondo Cósmico de Microondas (CMB) requieren obtener medidas multibanda para realizar el estudio de la radiación producida en las bandas de milimétricas y de microondas. Debido a ello, se hace necesario el desarrollo de instrumentación con un gran ancho de banda. La mayoría de los instrumentos construidos o en proceso para el estudio del CMB utilizan antenas de tipo bocina para realizar este tipo de observaciones [1-2]. Estas antenas poseen varias propiedades ventajosas como son la buena simetría en su haz, buena adaptación, baja polarización cruzada, y pocas pérdidas [3]. Como contrapartida, son grandes y pesadas por lo que ocupan gran espacio en el plano focal, además de tener un gran consumo de potencia en el caso de que tengan que ser enfriadas a temperaturas criogénicas.

Por estas razones, se desean realizar nuevos diseños en alta y baja frecuencia para aprovechar en mayor medida el plano focal del instrumento tanto en estaciones satélite como terrenas. Los principales objetivos de estos nuevos diseños van dirigidos a mejorar los factores coste y peso principalmente, siendo este último un punto fundamental para las estaciones embarcadas en satélite.

En el caso de éste artículo, se propone un array de antenas de parche, junto con lentes semiesféricas construido

para operar en banda Ka. El array está formado por 4 elementos tipo *bow-tie* alineados en el eje x de coordenadas.

Este array está alimentado a través de una estructura microstrip formada por 3 Divisores de potencia Wilkinson para obtener exactamente la misma señal en cada una de las antenas que forman parte del mismo.

Con la distribución escogida en este caso, la potencia en cada uno de los puertos de salida del divisor será $\frac{1}{4}$ de la potencia de entrada (P_{in} -6dB). Mediante una transición de microstrip a línea coplanar se forma la red de alimentación completa para el array de antenas.

Para analizar su comportamiento, se han estudiado las pérdidas de retorno, o adaptación de entrada, junto con los diagramas de radiación de campo lejano y la ganancia del conjunto completo.

Se ha especificado el análisis del comportamiento del sistema para el caso unidireccional introduciendo para ello una base reflectora móvil con la que se va variando la distancia de forma gradual entre ella y el array de antenas para obtener unos resultados óptimos.

Este trabajo va dirigido, en parte, al estudio de viabilidad para la fase II del experimento QUIJOTE (ver ref. [2]) el cual se está desarrollando para estudiar la polarización del CMB a 30GHz.

Con todo ello, será posible especificar una utilidad para este tipo de configuración haciendo comparaciones con las estructuras de antenas existentes para estas bandas de frecuencia. Además de su posible aplicación para la detección en el campo de la Astrofísica, se pueden buscar otras aplicaciones como sistemas radar y otros sistemas de comunicaciones. El tamaño del diseño realizado por un lado y el rango frecuencial de funcionamiento del array por otro, posibilitan su integración con circuitos de microondas, haciendo que el ancho de banda del sistema completo no esté limitado por la antena.

II. DISEÑO

Para evitar tener anchos de banda relativamente estrechos, en el diseño de este tipo de antenas es necesario utilizar sustratos con un valor alto de permitividad relativa [4]. En este trabajo, el sustrato elegido para el diseño del array junto con la estructura de Divisores Wilkinson ha sido Alúmina ($\epsilon_r=10$). Como características principales de este sustrato, se

puede destacar su grosor de $0.254 \mu\text{m}$ (10 mils), con recubrimiento de oro de $3 \mu\text{m}$ y tangente de pérdidas 0.0001.

Atendiendo a estas características del sustrato, se calculan las dimensiones de todas las líneas, microstrip y coplanar, para obtener las impedancias deseadas en cada caso y lograr una buena adaptación final. Las dimensiones del sustrato donde se diseña la estructura completa son de $36 \times 36 \text{ mm}^2$. El plano de masa, existente en la cara inferior del sustrato, posee una parte sin metalizar de $22 \times 22 \text{ mm}^2$ centrada en el eje x donde se encuentra el array de antenas. La Fig. 1 muestra la geometría del conjunto de Divisores Wilkinson junto con las transiciones microstrip a línea coplanar diseñadas. Se han simulado hilos de bonding en estas transiciones observando que se mejoraban los resultados obtenidos.

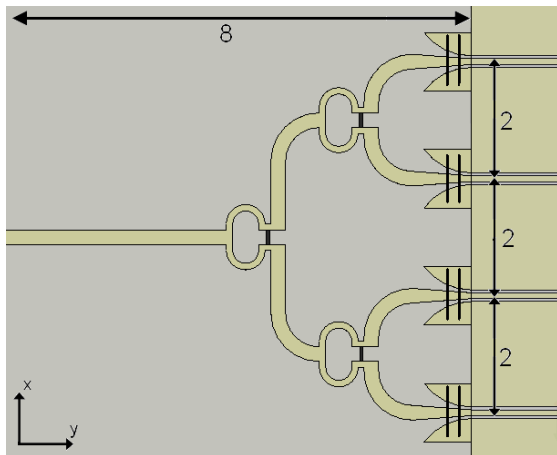


Fig. 1. Estructura del divisor de potencia. (Dimensiones en mm).

La Fig. 2. representa en detalle las dimensiones de las antenas de parche que forman parte del array.

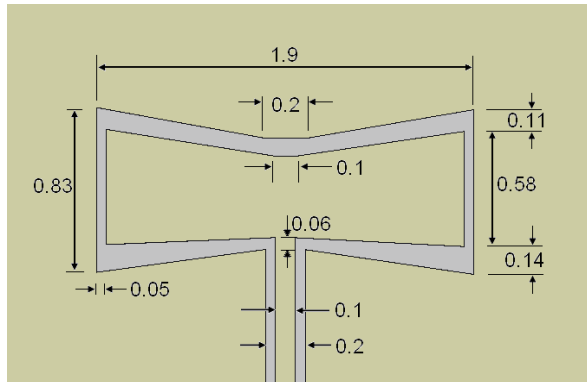


Fig. 2. Detalle de las cotas de la antena. (Dimensiones en mm)

Debido a las pequeñas dimensiones de las resistencias de los divisores Wilkinson ($250 \times 50 \mu\text{m}^2$) es necesario realizarlas por medio de una capa resistiva que poseen algunos sustratos de Alúmina. En el caso de este diseño, la capa resistiva tiene una resistividad de $20 \text{ Ohm}/\text{cuadro}$ por lo que las dimensiones de las resistencias son cruciales para evitar las discontinuidades entre las distintas salidas del divisor de potencia y obtener un buen aislamiento entre las mismas.

En esta ocasión se seleccionan las resistencias con las mínimas dimensiones que se pueden realizar en el laboratorio ($50 \mu\text{m}$). Siguiendo la Ec. 1., donde L es la longitud de la resistencia y W su anchura, la longitud de la misma viene determinada por el valor nominal deseado en este caso, el cual es 100 Ohm . Debido a esto, la longitud debe ser de $250 \mu\text{m}$ para obtener el valor deseado.

$$R = R_{\text{cuadro}} \cdot \frac{L}{W} = 20 \Omega \cdot \frac{250 \mu\text{m}}{50 \mu\text{m}} = 100 \Omega \quad (1)$$

Sobre este sustrato de Alúmina, se coloca otro de Arlon 25N ($\epsilon_r=3.28$) con unas dimensiones de $22 \times 22 \text{ mm}^2$. El grosor escogido en este caso es de 0.762 mm (30mils) con recubrimiento de cobre de $17 \mu\text{m}$. Aprovechando este recubrimiento de cobre, se realiza un parche de $2 \times 8 \text{ mm}^2$ en su centro, coincidiendo con la posición de las antenas que forman parte del array. La diferencia entre la alta permitividad de la Alúmina y el bajo valor que posee el Arlon25N, junto con acoplamiento que se produce entre las antenas y el parche de cobre, permiten obtener buen ancho de banda en el sistema diseñado, además de un diagrama de radiación uniforme [4-5].

Con el fin de mejorar la directividad del haz obtenido y aumentar la ganancia del array de antenas, se ha colocado una lente de metraquilato formada por una parte cilíndrica de 4.5 mm de altura con radio de 11 mm unida a una semiesfera como el mismo radio. Esta lente se coloca pegada al sustrato de Arlon 25N. Para completar el diseño, se coloca una segunda lente concéntrica con la anterior y con radio de 60 mm para colimar aún más la señal hacia el centro del array de antenas. En este caso, se ha seleccionado una lente de Teflón ($\epsilon_r=2.1$) para hacer el análisis.

La Fig. 3. Muestra la disposición de todos los elementos que forman parte del diseño descrito anteriormente, exceptuando la segunda lente colimadora.

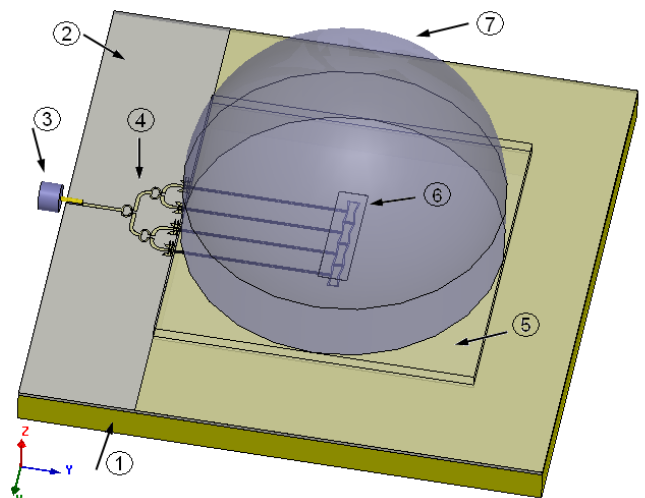


Fig. 3. Descripción del diseño realizado con HFSS; 1. base metálica; 2. sustrato de Alúmina ($\epsilon_r=10$); 3. conector 2.4 mm ; 4. Divisores Wilkinson; 5. sustrato de Arlon 25N; 6. parche de cobre; 7. lente de metraquilato.

sustrato de Arlon 25N ($\epsilon_r=3.28$); 6. parche de cobre; 7. lente de metraquilato ($\epsilon_r=3.4$).

III. RESULTADOS

Para llevar a cabo el análisis de este diseño, han sido utilizadas dos herramientas software. La primera de ellas, ADS de Agilent Technologies, fue utilizada para diseñar y optimizar el conjunto formado por los Divisores Wilkinson.

Tras esto, utilizando simulador electromagnético HFSS de Ansoft, se desarrolló el array de antenas para unirlo al divisor de potencia y al resto de componentes descritos en la Fig. 3. y de este modo analizar el comportamiento del sistema completo. Con todo ello, se realizan las optimizaciones oportunas estudiando los resultados obtenidos con diferentes tipos de materiales para las lentes colimadoras de la señal obteniendo los resultados que se exponen a continuación.

Debido a que en el presente trabajo interesa un diagrama de radiación unidireccional, se simula un plano reflector a diferentes distancias del sustrato donde se encuentra el array.

Desplazando este plano a lo largo del eje z, se van obteniendo diferentes pérdidas de retorno y diagramas de radiación de campo lejano para el array diseñado. Los mejores resultados del análisis fueron obtenidos con el plano reflector pegado al soporte mecánico donde se encuentra la Alúmina.

Los resultados de las pérdidas de retorno (parámetros S_{11}) del diseño se representan en la Fig. 4. En ella se observa que el array presenta dos bandas frecuenciales con buena adaptación dentro de la banda Ka. La primera de ellas está comprendida entre 24 y 31 GHz y la segunda entre 33 y 41 GHz. En estas condiciones de adaptación, se obtiene un ancho de banda máximo del 25 % aproximadamente.

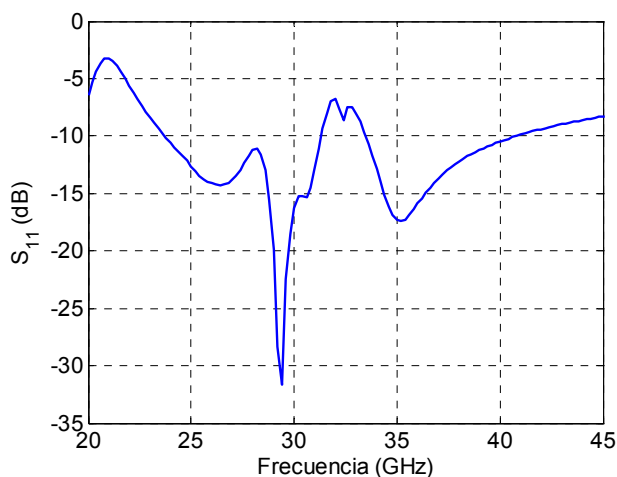


Fig. 4. Pérdidas de retorno del conjunto completo.

En la Fig. 5 se representa el diagrama de radiación de campo lejano a la frecuencia de 30 GHz. El nivel de los lóbulos secundarios se encuentra 15 dB por debajo del lóbulo principal, lo cual es un factor importante en los diseños de este tipo de antenas.

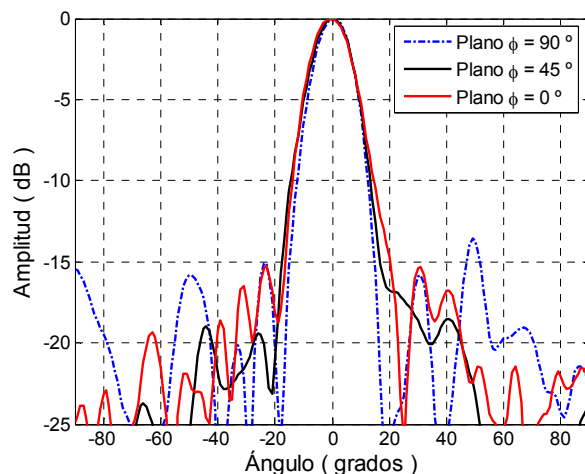


Fig. 5. Diagramas de radiación de campo lejano para Phi 0°, 45° y 90°. (Normalizado)

Para observar de forma más precisa la buena directividad conseguida, se muestra en la Fig.6. el diagrama de radiación de campo lejano, esta vez sin normalizar. En ella observa un ancho de banda 3dB de $\pm 8^\circ$ para los planos E y H. El valor máximo de ganancia conseguido en este diseño ha sido de 15 dB.

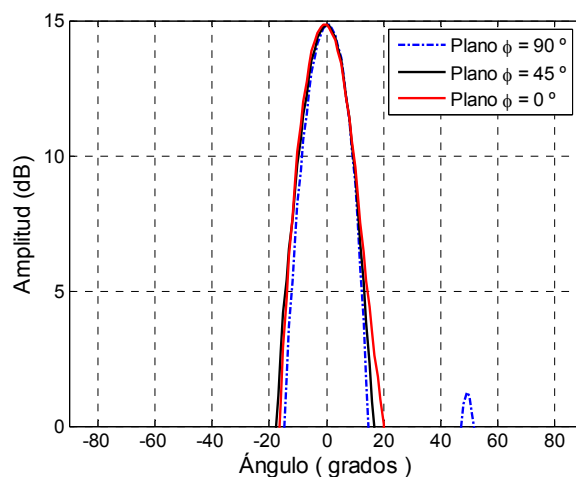


Fig. 6. Representación de la ganancia obtenida con el conjunto completo.

La Fig. 7. muestra el mismo diagrama en coordenadas polares, con los mismos planos de radiación. En estas dos últimas figuras se observa la directividad conseguida gracias a la agrupación de varias antenas en forma de array junto con el uso de lentes para colimar más la señal y aumentar a la vez la ganancia del diseño completo.

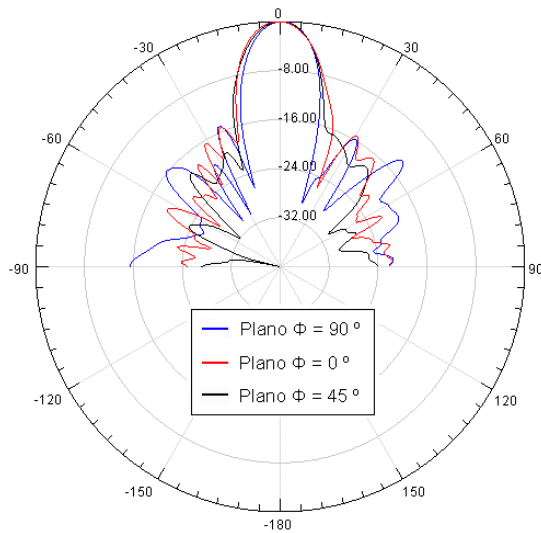


Fig. 7. Diagramas de radiación de campo lejano en coordenadas polares para Φ 0°, 45° y 90°. Normalizados.

En esta última figura se observa el patrón unidireccional conseguido gracias al plano reflector situado bajo el sustrato de Alúmina. Estos dos factores, buena directividad y patrón unidireccional, son necesarios en experimentos de detección de la intensidad y polarización del CMB en radioastronomía.

IV. CONCLUSIONES

Se ha diseñado un array de antenas de parche tipo bow-tie de banda ancha trabajando en la banda Ka. Con la estructura diseñada se obtiene un ancho de banda de trabajo máximo del 25%. Analizando el diseño a la frecuencia de 30 GHz, el diagrama de campo lejano presenta una ganancia de 15 dB y un nivel de lóbulos secundarios 15 dB por debajo del lóbulo principal. A la vista de los prometedores resultados obtenidos, prototipos con este tipo de diseño podrían ser utilizados además de para aplicaciones de radioastronomía o estudio del CMB, para sistemas radar y otros sistemas comunicaciones.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado con financiación del Ministerio de Ciencia e Innovación a través de los proyectos con referencia ESP2004-07067-C03-01 y AYA2007-68058-C03-02.

REFERENCIAS

- [1] F. Villa, M. Sandri, N. Mandolesi, et al. "High performance corrugated feed horns for space applications at millimetre wavelengths". *Experimental Astronomy*, 14, (2002), 1-15.
- [2] J. A. Rubiño-Martin, R. Rebolo, M. Tucci, et al. "The QUIJOTE CMB Experiment. Highlights of Spanish Astrophysics V", *Astrophysics and Space Science Proceedings*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2010), 127-135.
- [3] Oliver A.D. "Corrugated horns". *Electronics and Communication Engineering Journal*, (1992), 4-10.
- [4] W. S. T. Rowe and R.B Waterhouse. "Broadband fed stacked patch antenna". *Electronics Letters* 29th April 1999 Vol. 35 No. 9.
- [5] W. S. T. Rowe and K. Ghorbani. "InP Aperture Coupled Patch Antenna for Millimeter-wave/Photonic Integrated Circuits". *Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference* 2006